Un nouvel algorithme pour le plus court chemin multimodal bi-objectif avec minimisation du temps de trajet et du nombre de transferts

F. Gueye[1,2,3], C. Artigues[1,2], MJ. Huguet[1,2], F. Schettini[3], L. Dezou[3]

[1] CNRS ; LAAS ; 7 avenue du Colonel Roche, F-31077 Toulouse, France
[2] Université de Toulouse ; UPS, INSA, INP, ISAE ; LAAS ; F-31077 Toulouse, France
[3] MobiGIS ; ZAC Proxima, rue de Lannoux, 31310 Grenade Cedex France
{huguet,artigues}@laas.fr, {fgueye, fschettini, ldezou}@mobigis.fr

Mots-Clés : *Transport multimodal, Plus court chemin bi-objectif, Nombre de transferts, Techniques d'accélération*

1 Problème considéré

Le problème central de notre travail est celui de la recherche de plus courts chemins point à point sur des réseaux de transport multimodaux. Cette caractéristique de multimodalité induit un certain nombre de contraintes supplémentaires (fréquences et horaire de passage des bus et métro, vitesses de la circulation fluctuantes en fonction des conditions de trafic, restrictions propres à chaque mode). Le problème considéré dans cet article est celui de la recherche d'itinéraires origine-destination bi-objectif : il s'agit à la fois de minimiser le temps de trajet et de minimiser le nombre de changements de mode de transport aussi appelé nombre de transferts. Lozano et Storchi [2] proposent un algorithme polynomial à extension d'étiquettes pour résoudre ce problème en s'inspirant de l'algorithme topologique présenté dans [4]. La différence réside dans la prise en compte de l'état d'arrivée à un sommet déterminé par les modes empruntés, ce qui augmente le nombre d'étiquettes par sommet. Leur algorithme calcule le plus court chemin d'un sommet x vers un sommet y tout en limitant le nombre de transferts au maximum à une valeur k_{max}. Cet algorithme calcule de manière incrémentale les plus courts chemins de 0 à k_{max} transferts. A chaque étape, pour un nombre de transferts k donné, l'algorithme utilise une méthode classique d'extension d'étiquettes en partant du chemin partiel (étiquette) de plus petit coût, les étiquettes en attente correspondant à k transferts sont mémorisées dans une première liste et celles correspondant à $k+1$ transferts sont mémorisées dans une deuxième liste. Lors de l'étape suivante, l'algorithme repart de l'ensemble d'étiquettes à $k+1$ transferts déterminé précédemment. Cet algorithme s'avère donc plus efficace qu'un algorithme de type Dijkstra étendu au cas multimodal qui recalculerait à chaque étape le plus court chemin à k transferts [1]. Une limite de l'algorithme de [2] est qu'il est nécessaire de fixer a priori une valeur pour le nombre maximum de transferts k_{max} et ne traite pas le cas dépendant du temps ; par ailleurs les auteurs ne proposent pas de validation expérimentale de leur algorithme sur des réseaux de taille réelle.

L'algorithme que nous présentons dans ce travail vise à déterminer l'ensemble des chemins pareto-optimaux en termes de temps de trajet et de nombre de transferts entre un sommet x et un sommet y sans fixer a priori de limite sur le nombre maximum de transferts possibles pour un problème multimodal et dépendant du temps.

2 Algorithmes bi-objectif proposés

Le réseau de transport multimodal est représenté par un graphe multi-couches : chaque couche correspondant à un mode de transport. Les arcs de transfert relient des sommets entre ces différentes couches. La prise en compte de temps de trajet dépendant des horaires s'effectue comme dans [4] sur la base d'un graphe espace-temps. Par ailleurs, les contraintes d'utilisation des modes (par exemple, le fait de ne pouvoir utiliser l'automobile qu'à partir du sommet origine) sont représentées comme dans [2] par un automate fini (définissant les enchaînements entre états autorisés vis-à-vis des modes). L'algorithme bi-objectif proposé est également à extension d'étiquettes et il s'appuie sur différents ensembles E_k d'étiquettes en attente tels que chaque E_k contient des étiquettes à k transferts et le premier élément de E_k est celui de coût minimal. L'algorithme part de l'étiquette x de plus petit coût parmi les différents ensembles E_k et place dans le bon ensemble $E_{k'}$ les extensions de x. Ainsi, le premier plus court chemin obtenu donne une borne supérieure du nombre de transferts. Une fois ce chemin obtenu, les ensembles E_k correspondant à un nombre de transferts supérieur ou égal ne sont plus pris en compte et l'algorithme détermine successivement des chemins dont le nombre de transferts diminue et dont le cout augmente. Lors du calcul du coût de chaque étiquette, deux méthodes sont employées : (1) coût du sommet en termes de distance à l'origine et (2) coût du sommet en termes de distance à l'orgine auquel est ajoutée la distance estimée à la destination (variante de type A* des algorithmes). Une variante bi-directionnelle de cet algorithme est également proposée pour le cas non dépendant du temps[1].

Afin de comparer l'algorithme de [2] aux nôtres, nous y rajoutons une première étape permettant de déterminer une borne supérieure du nombre de transferts en calculant le plus court chemin faisant abstraction des modes utilisés. L'ensemble des programmes a été développé en C++ et ont été testés sur Pentium 2 à 2 GHz. Le réseau de test utilisé est une partie du réseau réel de la ville de Toulouse. Les modes de déplacements considérés sont le bus, le métro, la marche à pieds et la voiture. Il comporte 10 507 nœuds et 22788 arcs, des tables horaires de 5h à 23h59 pour les lignes de bus et des fréquences de passage pour les lignes de métro. Les expérimentations ont porté sur 50 trajets générés aléatoirement dont les couts varient entre 27,67min et 162,51min (moyenne 82,54) et dont le nombre de transferts varie entre 0 et 3. La première comparaison avec l'algorithme de [2] et notre algorithme mono-directionnel sur des réseaux multimodaux et dépendant du temps fait apparaître un gain moyen en temps de calcul de 51,36% en faveur de notre méthode (les temps de calcul moyen sont respectivement de 3,66s et de 1,78s). Ce gain est de 53,4% lorsque l'on compare les variante A* de ces deux algorithmes (pour des temps de calcul moyen de 1,81s et de 0,84s). Les expérimentations concernant l'algorithme bidirectionnel sont en cours et les premiers résultats montrent un gain en 30% en nombre de nœuds visités ce qui laissent présager de bonnes performances.

Références

[1] F. Gueye, C. Artigues, MJ. Huguet, F. Schettini, L. Dezou. Planification d'itinéraires en transport multimodal. *ROADEF09*, 10-12 février 2009, Nancy(France), 113–115, 2009.

[2] A. Lozano et G. Storchi. Shortest viable path Algorithm in multimodal network. *Transportation Research Part A* 35: 225–241, 2001.

[3] G. Nannicini, D. Delling, L. Liberti, D. Schultes. Bidirectional A* search for time-dependent fast paths. *Proceedings of WEA 2008*, LNCS 5038:334-346, Springer, 2008.

[4] S. Pallottino et M. G. Scutellà. Shortest path algorithms in transportation models : Classical and Innovative Aspects. *Equilibrium and Advanced Transportation Modelling*, Kluwer Academic Publishers, 245–281, 1998.

[1] Pour le cas dépendant du temps, l'algorithme bi-directionnel proposé par [3] pourra être adapté